

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL
PENGELASAN DENGAN METODE *FRICTION STIR
WELDING* (FSW) PADA ALUMINIUM SEJENIS (AL *SERIE*
AA-6061) TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

Budiawan Eko Saputro

D 200 140 013

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN
DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA
ALUMINIUM SEJENIS (AL *SERIE* AA-6061) TERHADAP SIFAT FISIS
DAN MEKANIS**

PUBLIKASI ILMIAH


Oleh:

BUDIAWAN EKO SAPUTRO

D 200 140 013

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen
Pembimbing


Ir. Bibit Sugito, M.T.
NIDN.0616106001

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN
DENGAN METODE *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA
ALUMINIUM SEJENIS (AL *SERIE* AA-6061) TERHADAP SIFAT FISIS
DAN MEKANIS
OLEH**

BUDIAWAN EKO SAPUTRO

D 200 140 013

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Faklitas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 14 Januari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Ir. Bibit Sugito, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Ir. Agus Hariyanto, M.T.
(Anggota II Dewan Penguji)**


.....

.....

.....

Dekan


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.
NIK.682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 14 Januari 2019

Penulis



Budiawan Eko Saputro

D 200 140 013

**ANALISA PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL
PENGELASAN DENGAN METODE *FRICITION STIR WELDING*
(FSW) PADA ALUMINIUM SEJENIS (AL *SERIE* AA-6061)
TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan mekanis pada hasil pengelasan *friction stir welding* (FSW) aluminium seri 6061 yang selanjutnya diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing* dan *annealing*. Penelitian ini menggunakan bahan plat aluminium seri 6061 ukuran $150 \times 50 \times 30$ mm. Pengelasan menggunakan metode *friction stir welding* (FSW) dengan parameter pengelasan putaran *tools* 1500 rpm dan *feedrate* 60 mm/menit, kemudian dilakukan perlakuan panas *normalizing* dan *annealing* pada temperatur 415°C dengan waktu penahanan 2 jam. Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan meliputi uji kekuatan tarik dengan standar ASTM E8, uji nilai kekerasan dengan metode *brinell*, dan yang terakhir uji foto struktur mikro. Hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa perlakuan panas mempengaruhi sifat fisis dan mekanis dari hasil pengelasan. Nilai tegangan tarik paling tinggi pada *raw material* sebesar 96,84 Mpa, sedangkan nilai regangan maksimum pada *annealing* sebesar 8,98 %. Nilai kekerasan paling tinggi pada *raw material* yaitu *base* 69,19 BHN, HAZ 49,12 BHN dan *Weld nugget* 54,48 BHN. Dari pengamatan struktur mikro terdapat daerah terang yang merupakan fasa Al dan daerah gelap yang merupakan fasa Mg_2Si

Kata Kunci: AA 6061, *annealing*, *friction stir welding*, *normalizing*, perlakuan panas.

Abstract

This study aims to determine changes in physical and mechanical characteristics in the result welding of the series 6061 aluminum friction stir welding (FSW), which is given *normalizing* and *annealing* heat treatment. This research uses aluminum plate 6061 series size $150 \times 50 \times 30$ mm. Welding use the friction stir welding (FSW) method with rotation welding parameters tool 1500 rpm and feedrate 60 mm / minute, then heat treatment *normalizing* and *annealing* on term 415°C with holding time of 2 hours. On this study conducted tests include pulling strength test with ASTM E8 standard, hardness value test with *brinell* method, and the last is microstructure photo test. The results of this study concluded that the heat treatment affects the physical and mechanical characteristics of the welding results. The highest pulling strains value in raw material is 96.84 Mpa, while the maximum tensile value on *annealing* is 8.98%. The highest hardness value in raw material is *base* 69.19 BHN, HAZ 49.12 BHN and *Weld nugget* 54.48 BHN. From the observation of the micro structure there are a bright area which is the Al phase and the dark area which is the Mg_2Si phase

Keywords: AA 6061, *annealing*, *friction stir welding*, *normalizing*, heat treatmen.

1. PENDAHULUAN

Dalam perjalanannya sambungan las mengalami beberapa koreksi penyempurnaan dan hal ini bisa dicapai dengan perkembangan teknologi las yang pesat sekarang ini. Salah satu jenis proses las yang relatif baru adalah las *friction stir welding* (FSW). Las *friction stir welding* (FSW) merupakan teknik pengelasan padat (*solid state welding*) dimana proses penyambungannya dalam kondisi lumer (bukan cair), sehingga proses pembekuan pada las busur listrik yang dapat menyebabkan retak dapat dihindari. Sebagai jenis proses sambungan las yang relatif baru, pengembangan las *friction stir welding* (FSW) saat ini masih sangat luas cakupannya, variabel-variabel yang diteliti sangat bervariasi dan menarik untuk dikembangkan. Hal ini karena las *friction stir welding* (FSW) yang memiliki keuntungan-keuntungan yang dapat berpengaruh positif terhadap suatu sistem dan pada akhirnya dapat menghasilkan dampak positif lebih besar terhadap kemajuan industri yang mengaplikasikan teknologi las *friction stir welding* (FSW).

Secara umum las *friction stir welding* (FSW) memiliki beberapa keuntungan dibanding las konvensional seperti las busur (*arc welding*). Dari segi proses pengelasan adalah mengurangi percikan api, tidak terbentuk porositas, tidak menggunakan gas apapun dalam proses las, tidak ada perubahan volume material secara signifikan, persiapan pengelasan yang sederhana, tidak membutuhkan logam pengisi dan tidak memiliki dampak lingkungan yang negatif. Sedangkan hasil sambungan yang terbentuk dari proses las *friction stir welding* (FSW) memiliki karakteristik kekuatan sambungan yang baik, kekuatan leleh baik, ketahanan korosi yang baik dan keuletan yang tinggi. Untuk kasus yang lebih khusus seperti penyambungan aluminium, metode las *friction stir welding* (FSW) ini juga sangat cocok untuk diaplikasikan. Dengan metode las konvensional aluminium dikenal sebagai material yang sukar untuk dilas, karena aluminium akan segera membentuk senyawa aluminium oksida atau alumina (Al_2O_3) ketika terpapar dengan udara. Dengan metode las *friction stir welding* (FSW), pelat aluminium dapat disambung dengan hasil karakteristik yang baik tanpa mengalami deformasi (Gagnon, 2006). Dari semua kelebihan yang dipaparkan, las

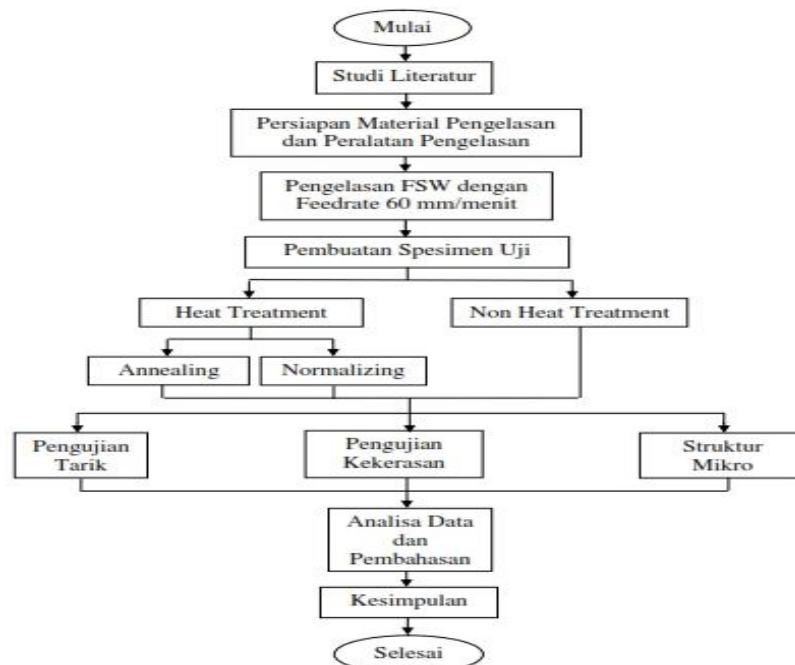
friction stir welding (FSW) sangat sesuai diaplikasikan untuk menyambung material aluminium.

Namun demikian, sambungan las *friction stir welding* (FSW) sering mengalami pelunakan (*softening*) dan penurunan kekuatan tarik (*strength*) akibat proses rekristalisasi pada logam las (*nugget zone*) saat pengelasan berlangsung. Untuk aluminium paduan yang bisa diperlaku-panaskan (*heat treatable*) seperti seri 2xxx, 6xxx dan 7xxx, perbaikan sifat fisis maupun mekanis dapat dilakukan melalui perlakuan panas.

Dari penelitian ini, penulis berharap akan mendapat sebuah kesimpulan mengenai perubahan sifat fisis dan mekanis pada hasil pengelasan *friction stir welding* (FSW) dengan material sejenis Aluminium seri 6061 yang selanjutnya diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing* dan *annealing*.

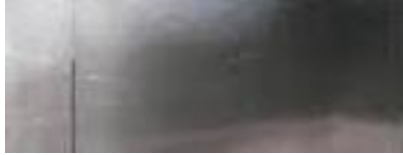
2. METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



2.2 Alat dan Bahan Penelitian

2.2.1 Bahan yang digunakan antara lain:



Gambar 1. *Base Metal* Pelat Aluminium seri 6061

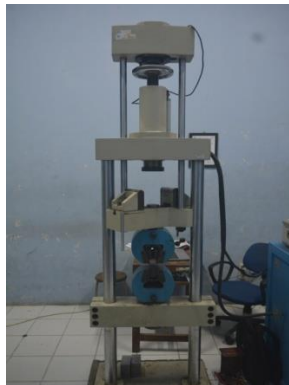
2.2.2 Alat yang digunakan antara lain:



Gambar 2. Mesin Milling Universal



Gambar 3. *Furnance*



Gambar 4. Alat Uji Tarik



Gambar 5. Alat Uji Kekerasan



Gambar 6. *Probe*



Gambar 7. Alat Uji Struktur Mikro

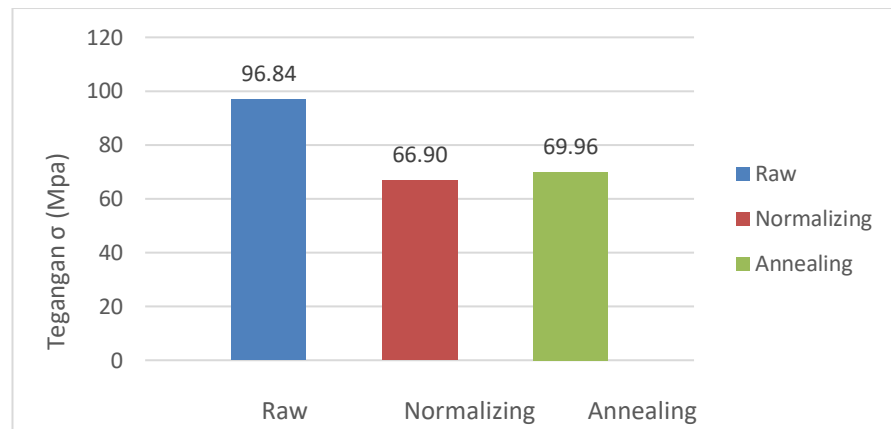
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian Tarik dan Pembahasannya

Tabel 1. Tegangan Hasil Uji Tarik

No	Perlakuan	A_0 (mm^2)	Pmax (Pa)	σ (MPa)	σ Rata-rata (MPa)	Patahan
1.	Raw	58,88	6,64	112,77	96,84	Weld Nugget
2.		59,42	6,73	113,25		Weld Nugget
3.		71,64	4,62	64,49		Weld Nugget
4.	Normalizing	69,67	4,30	61,72	66,90	Weld Nugget
5.		72,40	4,76	65,75		Weld Nugget
6.		62,68	4,59	73,23		Weld Nugget
7.	Annealing	72,57	4,59	63,25	69,96	Weld Nugget
8.		73,53	4,61	62,70		Weld Nugget
9.		57,78	4,85	83,93		Weld Nugget

a. Tegangan

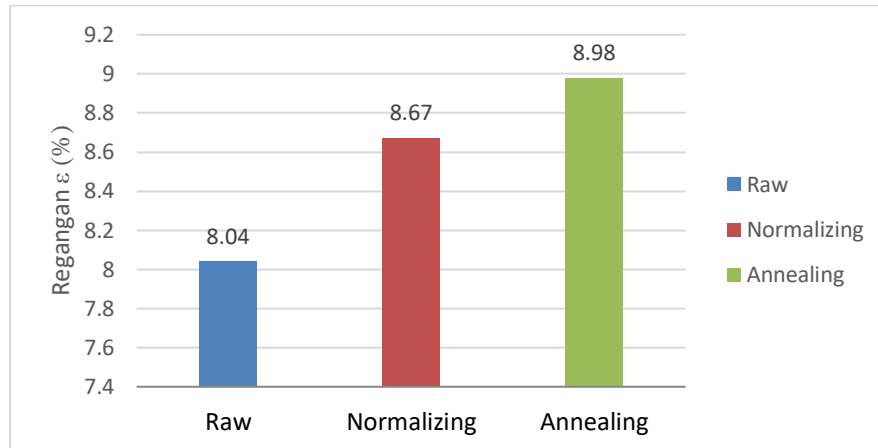


Gambar 8. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Tegangan Tarik

Tabel 2. Regangan Hasil Uji Tarik

No	Perlakuan	AL (mm)	ϵ (%)	ϵ Rata-rata (%)
1.	Raw	3,51	7,02	8,04
2.		4,14	8,28	
3.		4,41	8,82	
4.	Normalizing	4,54	9,08	8,67
5.		4,21	8,42	
6.		4,26	8,52	
7.	Annealing	4,26	8,52	8,98
8.		3,36	6,72	
9.		5,85	11,70	

b. Regangan



Gambar 9. Histogram Perbandingan Hasil Nilai Regangan Tarik

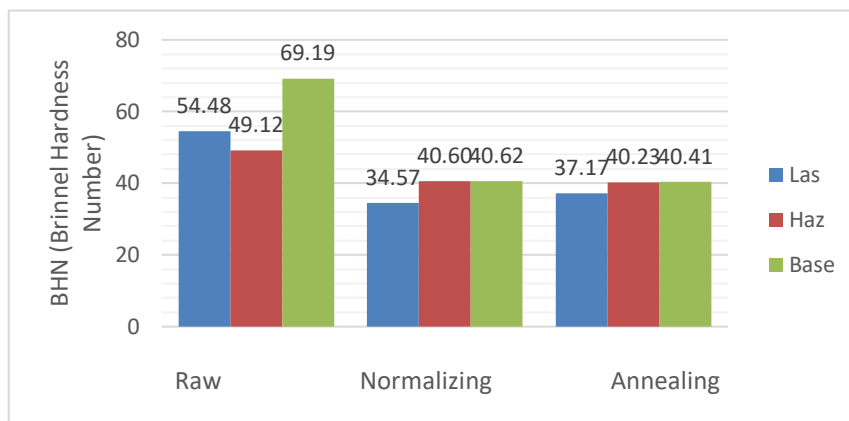
Dari Histogram tegangan tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik rata-rata tertinggi pada *raw* material yaitu sebesar 96,84 MPa. Untuk spesimen yang di *normalizing* menunjukkan nilai tegangan tarik rata-rata paling rendah yaitu sebesar 66,90 MPa. Nilai tegangan tarik spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *normalizing* lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *annealing* dikarenakan kemungkinan terjadinya cacat pada daerah las.

Dari Histogram regangan tarik menunjukkan bahwa nilai regangan tarik rata-rata tertinggi pada *annealing* yaitu sebesar 8,98 %. Untuk spesimen *raw* material menunjukkan nilai regangan tarik rata-rata paling rendah yaitu sebesar 8,04 %.

3.2 Data Hasil Uji Kekerasan dan Pembahasannya

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

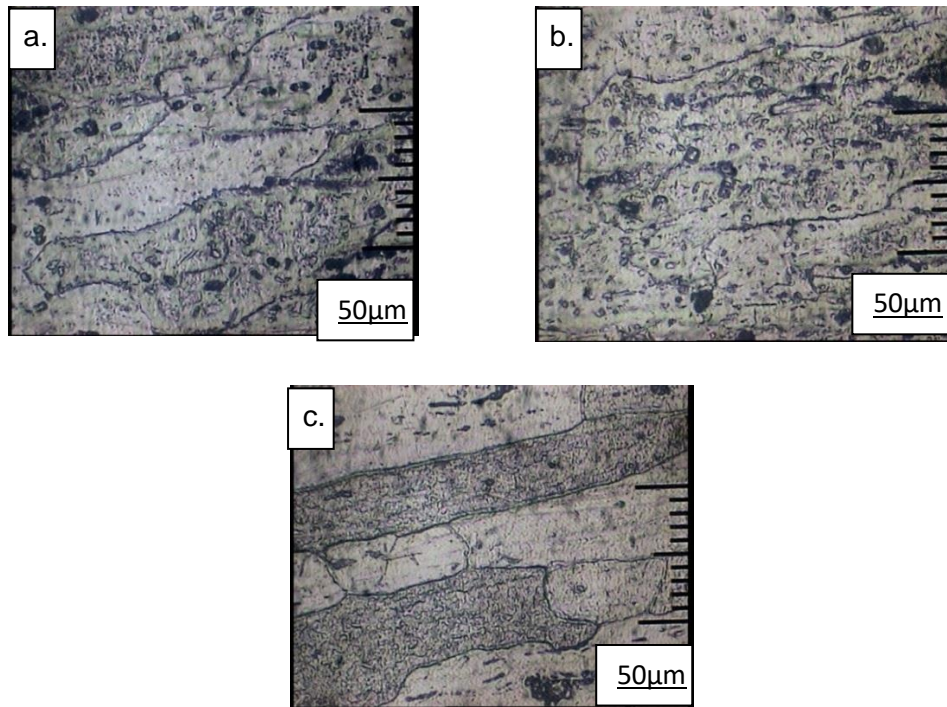
No	Perlakuan	Daerah	Diameter (mm)	Kekerasan (BHN)	Kekerasan Rata-Rata (BHN)
1	<i>Raw</i>	Las	0,72	37,6	54,48
2			0,71	38,7	
3			0,73	36,5	
4		HAZ	0,71	38,7	49,12
5			0,56	62,7	
6			0,63	49,3	
7		<i>Base</i>	0,73	36,5	69,19
8			0,7	39,8	
9			0,7	39,8	
1	<i>Normalizing</i>	Las	0,83	28,1	34,57
2			0,84	27,4	
3			0,82	28,8	
4		HAZ	0,78	31,9	40,60
5			0,72	37,6	
6			0,74	35,5	
7		<i>Base</i>	0,65	46,3	40,62
8			0,68	42,2	
9			0,67	43,5	
1	<i>Annealing</i>	Las	0,81	29,5	37,17
2			0,83	28,1	
3			0,84	27,4	
4		HAZ	0,83	28,1	40,23
5			0,75	34,6	
6			0,85	26,7	
7		<i>Base</i>	0,74	35,5	40,41
8			0,73	36,5	
9			0,73	36,5	



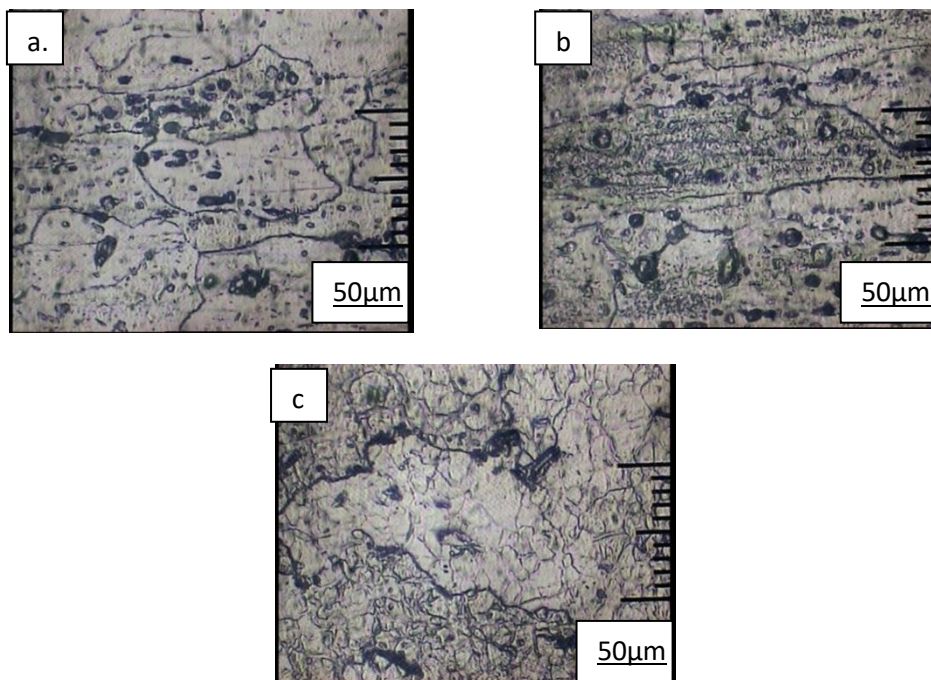
Gambar 10. Grafik Perbandingan Hasil Nilai Kekerasan

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata tertinggi pada bagian las adalah *raw* material yaitu sebesar 54,48 BHN. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata terendah adalah *normalizing* yaitu sebesar 34,57 BHN. Kemudian untuk bagian HAZ sendiri nilai kekerasan rata-rata tertinggi adalah *raw* material yaitu sebesar 49,12 BHN dan untuk nilai kekerasan rata-rata terendah adalah *annealing* sebesar 40,23 BHN. Lalu untuk bagian *base* nilai kekerasan rata-rata paling tinggi adalah *raw* material yaitu sebesar 69,19 BHN. Untuk nilai kekerasan rata-rata terendah adalah *annealing* yaitu sebesar 40,41 BHN. Nilai kekerasan pada daerah las, untuk spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *normalizing* lebih kecil dibandingkan dengan spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *annealing* kemungkinan karena terjadinya cacat pada daerah las.

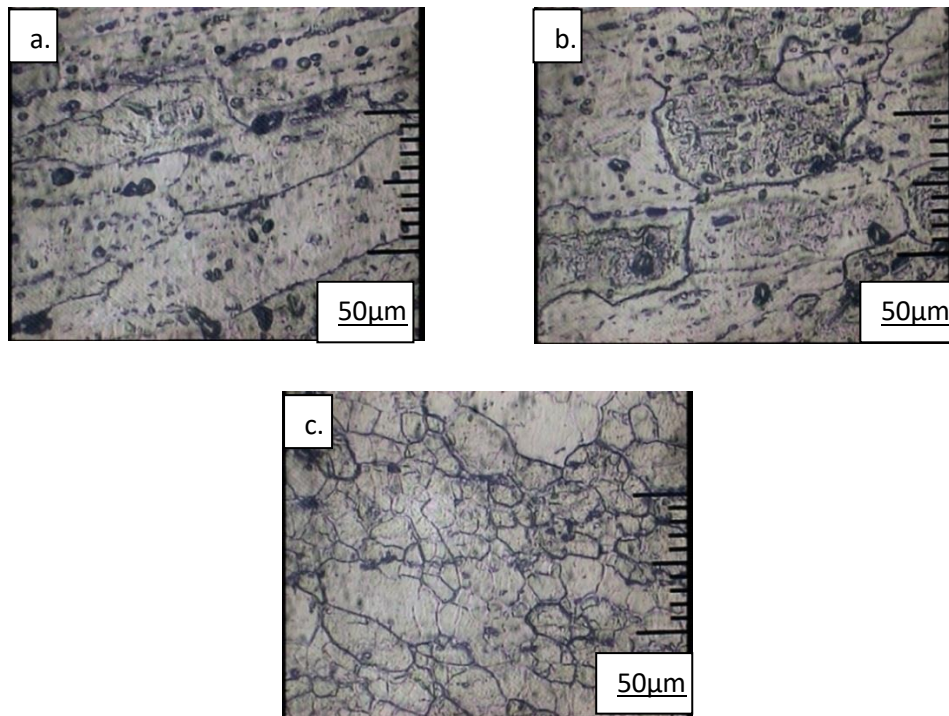
3.3 Hasil Foto Struktur Mikro dan Pembahasannya



Gambar 11. Struktur Mikro *Base Metal* (a.) *Annealing* (b.) *Normalizing* (c.) *Raw Material*



Gambar 12. Struktur Mikro HAZ (a.) *Annealing* (b.) *Normalizing* (c.) *Raw Material*



Gambar13. Struktur Mikro *Weld Nugget* (a.) *Annealing* (b.) *Normalizing* (c.) *Raw Material*

Dari gambar 11 sampai 13 dapat dilihat struktur mikro dari hasil pengelasan *friction stir welding* (FSW) yang tidak mengalami perlakuan panas atau *raw material* dan mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) *normalizing* dan *annealing* pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld nugget* yang ditampilkan dalam dua fasa yaitu aluminium *solid solution* yang ditunjukkan warna putih dan fasa Mg_2Si yang ditunjukkan dengan warna hitam. Kandungan Mg dan Si sangat mempengaruhi sifat mekanik dari aluminium jika kedua kandungan tersebut berada pada temperatur yang tepat, campuran ini akan membentuk Mg_2Si (Rajan,T.V., Sharma, G. P., Ashok,S., 1997).

Struktur mikro daerah *base metal* pada *raw material* memiliki butir kecil dan mempunyai arah memanjang akibat dari proses pengerollan, dimana butiran Mg_2Si terpusat pada beberapa bagian. Berbeda dengan yang mendapatkan perlakuan panas (*heat treatment*), dimana butiran mulai mengalami pembesaran dan butiran Mg_2Si mulai tersebar merata. Struktur

mikro *base metal* yang memiliki butiran paling kecil adalah pada *raw material*. Sedangkan yang memiliki butiran paling besar adalah pada *annealing*, karena proses pendinginan yang lebih lama, sehingga struktur mempunyai kesempatan untuk berubah.

Pada daerah HAZ, logam akan mendapatkan pengaruh pemanasan akibat pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Daerah HAZ pada *raw material* terlihat memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan HAZ yang mendapatkan perlakuan panas (*heat treatment*). Sedangkan pada struktur mikro daerah HAZ yang mengalami *normalizing* terlihat ukuran butirannya yang lebih kecil dan jumlah Mg_2Si tersebar merata sehingga daerah ini mengalami kenaikan nilai kekerasan, dibanding yang mengalami *annealing*.

Daerah *weld nugget* adalah daerah yang mengalami pemanasan langsung saat proses pengelasan. Pada *raw material weld nugget* terlihat memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan yang mendapatkan perlakuan panas (*heat treatment*). Untuk struktur mikro daerah *weld nugget* yang mengalami *annealing* terlihat ukuran butiran yang lebih kecil dan Mg_2Si tersebar merata dibanding yang mengalami *normalizing* dimana ukuran butiran lebih besar dan Mg_2Si tersebar lebih terpusat.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas (*heat treatment*) mempengaruhi sifat mekanik dari hasil pengelasan *friction stir welding* aluminium seri 6061, dimana nilai kekuatan tarik dari spesimen yang diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *annealing* dan *normalizing* mengalami penurunan di dibandingkan dengan spesimen yang tidak mengalami perlakuan panas (*raw material*). Pada pengujian

kekuatan tarik ini nilai tegangan tarik tertinggi pada *raw material* sebesar 96,84 Mpa dan regangan tarik tertinggi pada *annealing* sebesar 8,98 %. Sedangkan untuk nilai tegangan tarik terendah pada *normalizing* sebesar 66,90 Mpa dan nilai regangan tarik terendah pada *raw material* sebesar 8,04 %. Perbedaan nilai tegangan tarik dan regangan tarik ini disebabkan oleh fenomena pembesaran dan pengecilan pada butiran struktur mikro.

2. Nilai kekerasan dari spesimen yang diberikan perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *annealing* dan *normalizing* mengalami penurunan di dibandingkan dengan spesimen yang tidak mengalami perlakuan panas (*raw material*). Penurunan terjadi di semua daerah pengelasan baik di daerah *base*, daerah HAZ, dan daerah las (*weld nugget*). Pada pengujian kekerasan ini untuk daerah *base metal*, nilai tertinggi pada *raw material* sebesar 69,19 BHN dan terendah pada *annealing* sebesar 40,41 BHN. Untuk daerah HAZ, nilai tertinggi pada *raw material* sebesar 49,12 BHN dan terendah pada *annealing* sebesar 40,23 BHN. Sedangkan untuk daerah las (*weld nugget*), nilai tertinggi pada *raw material* sebesar 54, 48 BHN dan nilai terendah pada *normalizing* sebesar 34, 57 BHN. Perbedaan nilai kekerasan ini disebabkan oleh fenomena pembesaran dan pengecilan pada butiran struktur mikro.
3. Dari pengamatan struktur mikro pada spesimen yang tidak mengalami perlakuan panas, *normalizing*, *annealing* terdapat daerah terang yang merupakan fasa Al dan daerah gelap yang merupakan fasa Mg_2Si . Pada spesimen yang di *normalizing* dan *annealing* fasa Mg_2Si terkonsentrasi pada satu posisi dengan butiran yang besar dan meninggalkan fasa Al. Sedangkan pada spesimen tanpa perlakuan panas fasa Mg_2Si lebih merata dengan butiran yang lebih kecil dan merata pada semua bagian. Perubahan posisi fasa Al dan Mg_2Si serta perubahan ukuran butir dikarenakan proses perlakuan panas.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain :

1. Pemilihan material *tool joint* pada proses *friction stir welding* harus diperhatikan karena material *tool joint* harus lebih keras dibandingkan dengan *base metal*.
2. Pada saat proses pengelasan *friction stir welding* harus diperhatikan, apakah temperatur pemanasan sudah cukup untuk menjalankan *tool* karena akan berpengaruh pada hasil pengelasan.
3. Saat proses *heat treatment*, perhatikan penggunaan temperatur lalu tata spesimen di dalam *furnance* dengan memberi rongga dan tidak menumpuk spesimen agar panas bisa lebih merata.
4. Lakukan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan foto struktur mikro sesuai dengan prosedur juga teliti agar data - data hasil pengujian tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J., dan Szdoko, M. 2007. *Friction Stir Welding (FSW) of Aluminium Alloy AW6082-T6*. Volume 20. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. International OCSCO World Press.
- American Society for Metals Handbook Committee. 2004. *Metallography and Microstructures*. Volume 09. ASM International. The Materials Information Company.
- Badaruddin, Mohammad. 2003. *Modul Praktikum Pengujian Logam dan Non Logam*. Labotatorium material teknik jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas lampung. Bandar lampung
- Dawes, C, J. 1999. *Friction Stir Welding. TALAT Lecture 4410*. The Welding Institute. Cambridge.
- Dowling, E. Norman. 1999. *Mechanical Behavior Of Materials*. 2nd edition. Printed in the united states of America.
- Duniawan, A. 2016. *Pengaruh Post Weld Heat Treatment pada Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Aluminium 2024*. Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta.
- Elangovan, K. dan Balasubramanian, V. 2007. *Influences of Pin Profile and Rotational Speed of The Tool on The Formation of Friction Stir Processing Zone in AA2219 Aluminium Alloy*. Journal of Materials Science and Engineering. Elsevier.
- Florence, Jamie. 2005. *Friction Stir Welding An Innovative Commercial Joining Method Revolutionizing The Design* – Fabrication and Performance of Army Ground Vehicle Structures and Armors. Concurrent Technologies Corporation. USA.
- Gagnon, F.O. dan Simard, A. 2006. *FSW Welding Technology – Friction Stir Welding*. Aluminium Technology Centre National Research Council Canada. Quebec.
- Gerlich, A., dkk. 2007. *Strain Rates and Grain Growth in Al 5754 and Al 6061 Friction Stir Spot Welds*. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- Mandal. 2005. *Aluminum Welding*. 2nd ed. Narosa Publishing House. New Delhi.

- Machmud, Jihad M. 2013. *Perilaku Sifat Mekanis dan Fatik Sambungan Las Friction Stir Welding Al 6061 yang Mengalami Perlakuan Panas Ulang T6*. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Mishra, Rajiv S dan Mahoney, Murray W. 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. ASM Internasional.
- Mishra, R.S. dan Ma, Z.Y. 2005. *Friction Stir Welding and Processing, Journal of Materials Science and Engineering*. Science Direct.
- Moarrefzadeh, Ali. 2012. *Study of Heat Affected Zone (HAZ) in Friction Welding Process*. Iran: Journal of Mechanical Engineering.
- Nandan, R, T. DebRoy, H.K.D.H. Bhadeshia. 2008. *Recent Advances In Friction Stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties*. Science Direct.
- Prassana, P.,Penchallaya, CH., Anandamohana Rao, D. 2013. *Effect Tool Pin Profiles and Heat Treatment Process in The Friction Stir Welding of AA 6061 Aluminium Alloy*. American Journal of Engineering Research.
- Rajakumar, S., dan Balasubramanian, V. 2012. *Correlation Between Weld Nugget Grain Size, Weld Nugget Hardness and Tensile Strength of Friction Stir Welded Commercial Grade Aluminium Alloy Joints*.
- Rajan,T.V., Sharma, G. P., Ashok,S. 1997. *Heat Treatment Principles and Techniques*. Prentice of India Private Limited.
- Smith, W. F., dan Javad H. 1993. *Foundations of Materials Science and Engineering*. 5th ed in SI Units. University of Central Florida – McGraw Hill Inc.
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT.Pradya Paramita.
- Subramaniam, Senthilkumar, dkk. 2013. *Acoustic Emission–Based Monitoring Approach for Friction Stir Welding of Aluminum Alloy AA6063-T6 with Different Tool Pin*. Journal of Engineering Manufacture. Institution of Mechanical Engineering. India.
- Sydney, H.A.1974. *Introduction to Physical Metalurgi*. Mc Graw Hill Inc.
- Tim Pengajar Bahan Teknik. 2011. *Materi Pembelajaran Mata Kuliah Bahan Teknik I*. Yogyakarta : Sekolah Vokasi.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura,Toshie. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT Pradya Paramita.